

*Межесов Павел Николаевич*  
*Главный специалист «Управления главного технолога»*  
*АО «НПО ЭНЕРГОМАШ»*  
*Россия, г. Химки*

## **ОСОБЕННОСТИ ЛЕГИРОВАННЫХ, АУСТЕНИТНЫХ, ФЕРРИТНЫХ СТАЛЕЙ ПРИ СВАРКЕ И ОБРАБОТКЕ РЕЗАНИЕМ**

***Аннотация:** В статье анализируется обработка металлов резанием и сварка легированных, аустенитных и жаропрочных сталей. Рассматриваются основные легирующие элементы и их свойства, приводятся особенности и отличия аустенитных и ферритных сталей и специфика жаропрочных сталей. Выявляются особенности обработки резанием и сварки легированных сталей, обусловленные их структурным состоянием, рассматриваются пути повышения обрабатываемости резанием и увеличения эффективности сварки.*

***Ключевые слова:** обработка металлов, обработка резанием, сварка, легированные стали, аустенитные стали, жаропрочные стали.*

***Annotation:** The article analyzes the processing of metals by cutting and welding of alloyed, austenitic and heat-resistant steels. The main alloying elements and their properties are considered, the features and differences between austenitic and ferritic steels and the specifics of heat-resistant steels are given. Features of machining and welding of alloyed steels are revealed, due to their structural state, ways to improve the machinability by cutting and increase the efficiency of welding are considered.*

***Key words:** metal processing, cutting, welding, alloy steels, austenitic steels, heat-resistant steels.*

## **Введение**

По мере развития различных областей техники возрастают и требования к эксплуатационным свойствам материалов, которые должны показывать высокую степень работоспособности в условиях повышенных значений нагрузок, температур, скоростей и давлений [1]. В связи с этим широкое распространение получают легированные стали, создаваемые посредством направленного воздействия на процессы структурообразования, что позволяет придавать им специфические свойства и высокие показатели прочности, твёрдости, коррозиестойкости в различных агрессивных средах и красностойкости. Основными завершающими операциями производственного цикла, применяющимися практически во всех областях техники, являются сварка и механическая обработка металлов [2]. От корректности проведения этих операций во многом зависит качество готовых изделий, что обуславливает значимость исследования особенностей сварки и механической обработки легированных сталей.

Целью работы является изучение обработки металлов резанием и сварки легированных, аустенитных и жаропрочных сталей. Для её достижения были использованы методы анализа и синтеза научных публикаций и литературных источников по рассматриваемой теме.

### **Легированные, аустенитные и жаропрочные стали**

Легированными называются стали, включающие примеси, вводимые в определённых концентрациях для изменения внутренней структуры и свойств [3]. Введение легирующих примесей существенно усложняет взаимодействие компонентов стали, приводит к образованию новых структурных составляющих и фаз и изменяет кинетику превращений. Легирующие элементы в сталях могут находиться в свободном состоянии, в виде интерметаллидных соединений с железом либо между собой, в виде сульфидов, оксидов и прочих неметаллических соединений, в растворённом

виде в железе, в виде самостоятельных соединений с углеродом или твёрдого раствора в цементите.

В качестве основных легирующих элементов применяются следующие [4]:

- углерод, повышающий коррозионную стойкость;
- хром, определяющий пассивную природу нержавеющей сталей;
- никель, присутствие которого приводит к образованию аустенитной структуры, придающей сталям пластичность, прочность и вязкость даже при криогенных температурах, а также делающий сталь немагнитной, что приводит к значительному улучшению стойкости к кислотному нападению;
- молибден, повышающий устойчивость к щелевой коррозии и локальному воздействию точечной коррозии;
- марганец, являющийся стабилизатором аустенита, способствующий раскислению при плавлении и предотвращающий образование включений сульфида железа, могущих стать причиной проблем с горячим растрескиванием;
- кремний, повышающий коррозиестойкость, улучшающий сопротивление оксидации и стабилизирующий феррит;
- медь, улучшающая коррозиестойкость и повышающая обрабатываемость аустенитных сталей за счёт снижения склонности к упрочнению;
- азот, увеличивающий сопротивление к межкристаллитной и питтинговой коррозии и обеспечивающий усиление жаропрочных сплавов;
- ниобий, предотвращающий межкристаллитную коррозию и повышающий сопротивление термической усталости;
- титан, использующийся для стабилизации сталей перед аргоно-кислородным обезуглероживанием.

В зависимости от влияния легирующих элементов на температуры полиморфного превращения выделяют два типа сталей [5]:

1. Аустенитные. Включают никель, марганец, углерод, азот и другие элементы. Отличаются высокими показателями коррозионной стойкости, прочности на разрыв и коэффициента теплового расширения, низким пределом текучести, хорошими показателями деформации и свариваемости, отсутствием магнитных свойств, высокой пластичностью и ударной вязкостью.

2. Ферритные. Содержат в своём составе хром, молибден, вольфрам, ванадий, кремний, титан и другие примеси. Обладают рядом недостатков, таких как магнитные свойства, высокая чувствительность к надрезу, низкая пластичность и ударная вязкость, образование холодных трещин, склонность к хрупкому разрушению, межкристаллитной коррозии и росту зерна и прочие. Для их устранения или минимизации в ферритные стали добавляются дополнительные легирующие элементы.

Отдельную категорию легированных сталей образуют жаропрочные стали, содержащие кремний, хром, молибден, никель и ряд других элементов [6]. Такие стали способны выдерживать механические нагрузки без существенных деформаций при нагреве до 650°C и более, сохраняя свои прочностные свойства.

### **Особенности обработки резанием и сварки**

Основной разновидностью механической обработки сталей является обработка резанием, заключающаяся в срезании с обрабатываемой поверхности припуска, который может удаляться как одновременно с нескольких поверхностей заготовки, так и последовательно с каждой обрабатываемой поверхности [7]. Процесс отделения стружки от заготовки находится в прямой зависимости с характеристиками обрабатываемой стали, такими как прочность, твёрдость и пластичность, и термомеханическими условиями резания.

Аустенитные стали входят в число труднообрабатываемых материалов, по обрабатываемости резанием уступая коррозионностойким мартенситным и

ферритным сталям в 1,5-2 раза [8]. Их низкая обрабатываемость обусловлена высокими коэффициентами трения в зоне теплового расширения и резания, значениями склонности к наклёпу и вязкости и низкой теплопроводностью.

Обрабатываемость резанием легированных сталей в значительной степени определяется их структурным состоянием, зависящим от режимов термопластической и термической обработки. Так, дисперсионнотвердеющие стали в случае присутствия в их структуре дисперсных частиц после закалки и отпуска обрабатываются хуже, поскольку эти частицы препятствуют деформации сдвига при резании и повышают истирающую способность сталей. Лучшими показателями обрабатываемости резанием отличаются аустенитные стали в отожжённом состоянии, что связано с меньшим упрочнением аустенита либо образованием мартенсита деформации в ходе резания.

Повышение эффективности обработки резанием может быть достигнуто технологическими и металлургическими приёмами [9]. Технологические сводятся к нормализации с высоких температур и укрупнению зерна, а металлургические предусматривает введение в состав сталей серы, фосфора, селена, кальция и свинца, образующих различные включения, создающие внутреннюю смазку, которая в зоне резания облегчает измельчение стружки, снижая трение между ней и инструментом.

Сварка представляет собой процесс получения неразъёмного соединения материалов благодаря термодинамически необратимому превращению механической и тепловой энергии и вещества в стыке [10]. По характеру вводимой энергии все сварочные процессы делятся на термические, механические и термомеханические. Сварка легированных сталей проводится с учётом их состава и концентрации легирующего элемента, по количеству которого эти стали подразделяются на [11]:

- низколегированные, содержащие не более 2 % одного легирующего элемента и не более 5 % суммарного объёма легирующих компонентов;

- среднелегированные, в которых суммарное содержание легирующих элементов доходит до 10 % при содержании одного элемента в пределах 2-5 %;

- высоколегированные, включающие более 5 % одного легирующего элемента при суммарном содержании примесей более 10 %.

При сварке аустенитных легированных сталей выбираются режимы термической обработки, обеспечивающие снятие самонаклёпа и гомогенизацию структуры сварного соединения. Сварка жаропрочных сталей осуществляется с применением вольфрамового электрода в среде защитных газов. Помимо этого, широко используются автоматическая сварка под флюсом и механизированная аргодуговая сварка неплавящимися и плавящимися электродами.

### **Заключение**

Сварка и механическая обработка сталей различных типов являются основными операциями, используемыми для производства деталей и конструкций, поскольку отличаются универсальностью и позволяют достигать максимальной точности работ. Использование в разнообразных производствах специальных легированных сталей, отличающихся специфическими механическими свойствами, химическими и магнитными показателями, требует постоянного обновления применяемых видов сварки и механической обработки, в частности обработки резанием, и соответствующего оборудования, а также высокого уровня квалификации кадров. Легированные, аустенитные и жаропрочные стали относятся к категории труднообрабатываемых материалов, в связи с чем для их полноценного применения необходимо совершенствование как состава этих типов сталей, так и используемого для обработки оборудования.

### **Список литературы**

1. Луценко В.А. Влияние химического состава на механические свойства легированной стали / В.А. Луценко, Т.Н. Голубенко, О.В. Луценко,

А.С. Козачек, Н.А. Глазунова // Литье и металлургия. – 2018. – № 1 (90). – С. 120-123.

2. Малышко С.Б. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие для вузов / С.Б. Малышко, С.А. Горчакова. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2017. – 83 с.

3. Кушнер В.С. Материаловедение: учеб. для студентов вузов / В.С. Кушнер, А.С. Верещака, А.Г. Схиртладзе, Д.А. Негров, О.Ю. Бургонова; под ред. В.С. Кушнера. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2008. – 232 с.

4. Юсеф Х.А. Обработка нержавеющей сталей и жаропрочных сплавов: традиционные и нетрадиционные методы / Х.А. Юсеф. – Египет: Александрийский университет, 2016. – 278 с.

5. Александров В.М. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учеб. пособие. Ч. 1. Материаловедение. Стандарт третьего поколения / В.М. Александров. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет, 2015. – 327 с.

6. Иванников Е.В. Конструкционные стали и сплавы для заданных изделий: учеб. пос. / Е.В. Иванников. – Липецк: Издательство Липецкого государственного технического университета, 2017. – 83 с.

7. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие для СПО / М.С. Корытов и др.; под ред. М.С. Корытова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2022. – 234 с.

8. Блинов Е.В. Развитие систем легирования высокоазотистых аустенитных сталей для тяжело нагруженных изделий криогенной техники: дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.01 / Евгений Викторович Блинов; Инст. металлург. и материаловед. им. А.А. Байкова. – М., 2018. – 325 с.

9. Александров В.М., Думанский И.О. Материаловедение: курс лекций. – Архангельск, 2020. – 140 с.

10. Материаловедение и технология материалов в 2 ч. Ч. 2: учеб. для вузов / Г.П. Фетисов и др.; отв. ред. Г.П. Фетисов. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во Юрайт, 2022. – 410 с.

11. Оборудование и основы технологии сварки металлов плавлением и давлением: учеб. пособие / под ред. Г.Г. Чернышова и Д.М. Шашина. – СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 464 с.